

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕДКОЙ
ОРХИДЕИ *EPIPACTIS ATRORUBENS* В ЕСТЕСТВЕННОЙ И
ТРАНСФОРМИРОВАННОЙ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕГО УРАЛА**

Новиков П.Е., Малева М.Г.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

p.e.novikov@bk.ru maria.maleva@mail.ru

Аннотация. Проведено исследование структурно-функциональных особенностей редкой орхидеи *Epipactis atrorubens*, позволяющей ей успешно произрастать в трансформированной экосистеме (отвале вскрышных пород после добычи асбеста). Изучены основные мезоструктурные параметры листа (толщина эпидермиса, мезофилла, количество клеток и хлоропластов, их размеры) и некоторые физиолого-биохимические характеристики (содержание фотосинтетических пигментов и скорость поглощения CO₂). Выявлены существенные компенсаторные структурно-функциональные перестройки фотосинтетического аппарата у орхидеи, произрастающей в трансформированном местообитании, позволяющие поддерживать интенсивность фотосинтеза на постоянном уровне в условиях водного дефицита и повышенной инсоляции.

Ключевые слова: Orchidaceae Juss., мезоструктура, фотосинтетические пигменты, фотосинтез, техногенные субстраты, адаптация растений.

**STRUCTURAL AND FUNCTIONAL FEATURES OF THE RARE ORCHID
EPIPACTIS ATRORUBENS IN THE NATURAL AND TRANSFORMED
ECOSYSTEMS OF THE MIDDLE URALS**

Novikov P.E., Maleva M.G.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. A study of the structural and functional features of the rare orchid *Epipactis atrorubens*, which allows it to grow successfully in a transformed ecosystem (dump of overburden after asbestos mining), has been carried out. The main mesostructural parameters of the leaf (the thickness of the epidermis, mesophyll, the number of cells and chloroplasts, their size) and some physiological and biochemical characteristics (the content of photosynthetic pigments and the rate of CO₂ uptake) have been studied. Significant compensatory structural and functional rearrangements of the photosynthetic apparatus in an orchid growing in a transformed habitat have

been revealed, which make it possible to maintain the intensity of photosynthesis at a constant level under conditions of water deficit and increased insolation.

Key words: Orchidaceae Juss., mesostructure, photosynthetic pigments, photosynthesis, technogenic substrates, plant adaptation.

Орхидеи (семейство Orchidaceae Juss.) вследствие специфики своей морфологии, декоративной ценности и слабой устойчивости к антропогенным факторам являются одними из наиболее чувствительных растений флоры России [1, 2]. Более половины всех орхидей, произрастающих на территории нашей страны, относятся к редким или исчезающим видам, представленным малыми изолированными популяциями, нуждающимися в особой охране. Для сохранения эти растения были включены в Красную книгу Российской Федерации [1], в том числе, некоторые дополнительные виды вошли в Красную книгу Свердловской области [2]. В то же время обнаружено, что некоторые орхидеи не только способны выдерживать антропогенное воздействие, но и активно заселять трансформированные местообитания [3–5]. Большинство исследований популяций орхидных посвящено изучению их фитоценотической структуры, онтогенетическим и морфометрическим аспектам [3, 4, 6], при этом практически нет работ, направленных на изучение анатомических и физиолого-биохимических особенностей, позволяющих этим видам приспосабливаться к неблагоприятным условиям трансформированных экосистем.

Цель исследования – сравнительная оценка структурно-функциональных особенностей редкой орхидеи *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Bess., на примере двух популяций, произрастающих на серпентинитных породах в естественном лесном фитоценозе и трансформированной экосистеме на территории Среднего Урала.

Участок 1 (фон), представленный 100–120-летним сосновым лесом на площади 500 м², находился между поселками Шиловка и Новоасбест (57°45'41.0"N; 60°13'03.1"E) на склоне горы Голой в 3–5 км от отвалов Анатольско-Шиловского горно-обогатительного комбината (ГОК). Обнаружено около 40 генеративных особей, плотность популяции – 0,08 шт./м².

Участок 2 находился на территории, принадлежащей ранее Анатольско-Шиловскому ГОКу, расположенному вблизи поселка Новоасбест Пригородного района Свердловской области. Комбинат вел разработку открытым способом режикит-асбеста, принадлежащего группе амфиболовых асбестов Анатольско-Шиловской и Алапаевской групп в период 1952–1991 гг. [7]. Карьерно-отвальный комплекс окружен сосновыми травяными и сосновыми травяно-черничниковыми лесами, поэтому после прекращения горных работ на участках отвалов сразу началось активное самозарастание древесной растительностью.

Участок 2, площадью 500 м², представлен популяцией *E. atrorubens* на уступе 2-го яруса, расположенной с юго-западной стороны Анатольского отвала (57°43'33.5"N; 60°12'37.2"E), в формирующемся разреженном лесном фитоценозе с доминированием 20–25-летних деревьев *Pinus sylvestris* L. Распределение *E. atrorubens* групповое. Численность популяции составила около 147 растений, плотность – 0,3 шт./м².

Измерение структурно-функциональных параметров фотосинтетического аппарата орхидеи проводились на листьях среднего яруса, полностью завершивших свой рост. Мезоструктурные параметры были определены согласно методу Мокроносова и Борзенковой [8]. Измерения проводили в 30-кратной повторности с использованием специализированной программы SIAMS MesoPlant (ООО «СИАМС», Россия) при помощи светового микроскопа Meiji MT 4300L («Meiji Techno», Япония). Срезы листьев получали с использованием замораживающего микротомы МЗ-2 (Россия). Подсчет количества клеток в единице площади листа после мацерации тканей в 20% растворе КОН с нагреванием производился с помощью счетной камеры Горяева.

Скорость ассимиляции CO₂ измеряли на инфракрасном газовом анализаторе LI-6400XT («LI-COR», США) при насыщающей интенсивности света 1600 мкМ/(м²×с), температуре в камере 23 °С и влажности – 50 %. Содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов измеряли спектрофотометрически на PD-303UV («APEL», Япония) после экстракции в 80 % ацетоне при 470, 647 и 663 нм и рассчитывали согласно Lichtenthaler [9]. Исследования проводили в 4-кратной биологической и 6-кратной аналитической повторностях. На рисунках представлены средние значения и их стандартные ошибки; звездочкой отмечены достоверные различия между исследуемыми участками согласно непараметрическому критерию Манна-Уитни при $p < 0,05$.

Фотосинтетический аппарат листа играет важную роль в адаптации растений к условиям существования, он обеспечивает жизнедеятельность растений в разнообразных экологических условиях. Это достигается путем изменения анатомической структуры, физиологических и биохимических характеристик листа [10]. В целом для листьев *E. atrorubens* характерен гомогенный тип строения мезофилла. Сравнительный анализ параметров фотосинтетического аппарата у орхидеи из естественного и трансформированного фитоценозов, показал достоверное изменение показателей мезоструктуры листа в условиях техногенной нагрузки. Показано, что растения с отвала имели более толстую листовую пластинку, что связано с достоверным увеличением толщины мезофилла.

Специфичность характера техногенных субстратов может быть связана прежде всего с бедностью отвалов биогенными веществами [5, 7]. Им также

характерно наличие водного дефицита в субстрате произрастания и избыточная инсоляция, связанная, прежде всего, с отсутствием сомкнутого растительного покрова. Все эти факторы способствовали усилению у *E. atrorubens* ряда ксероморфных черт в строении листовой пластинки.

Так, увеличение толщины мезофилла в листе происходило за счет существенного (в 2 раза) увеличения числа клеток мезофилла в единице площади (рис. 1А). При этом размеры клеток уменьшились в среднем в 1,5 раза (рис. 1Б, В). Количество хлоропластов в единице площади листа орхидеи, произрастающей на техногенном субстрате, также достоверно увеличивалось (рис. 1Г), при том, что их размеры уменьшались (рис. 1Д, Е).

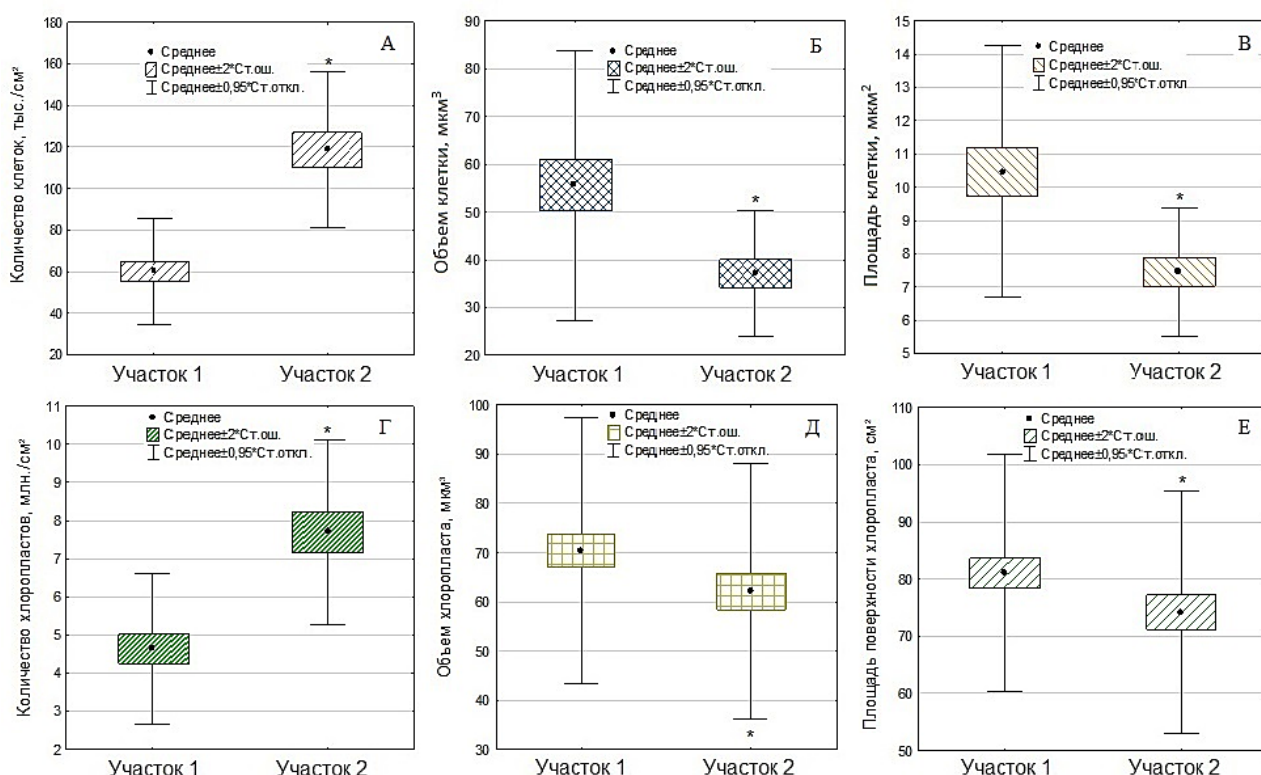


Рисунок 1 – Количество клеток мезофилла (А), их объем (Б) и площадь (В); количество хлоропластов в единице площади листа (Г), их объем (Д) и площадь (Е) в листьях *E. atrorubens* из естественной (участок 1) и трансформированной (участок 2) экосистем. * – Различия между участками достоверны при $p < 0,05$

Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях *E. atrorubens* с исследованных участков показал, что на отвале содержание хлорофиллов *a* и *b* увеличивалось в среднем в 1,5 раза, а содержание каротиноидов – в 1,8 раз (рис 2А). Данная особенность, с одной стороны, может быть связана с достаточно высоким содержанием азота, фосфора и, особенно, магния в листьях орхидеи, произрастающей на отвале, поскольку эти макроэлементы необходимы для нормального синтеза фотосинтетических пигментов, с другой стороны – с высокой инсоляцией в данном местообитании.

Фотосинтез является одним из главных процессов, обеспечивающих растения органическими веществами и энергией [10]. Скорость поглощения CO_2 в листьях *E. atrorubens* на обоих участках достоверно не различалась при расчете на единицу площади листа. Однако, при расчете на мг хлорофилла в час и на хлоропласт в час (рис. 2Б) обнаружено достоверное снижение интенсивности фотосинтеза у растений с участка 2.

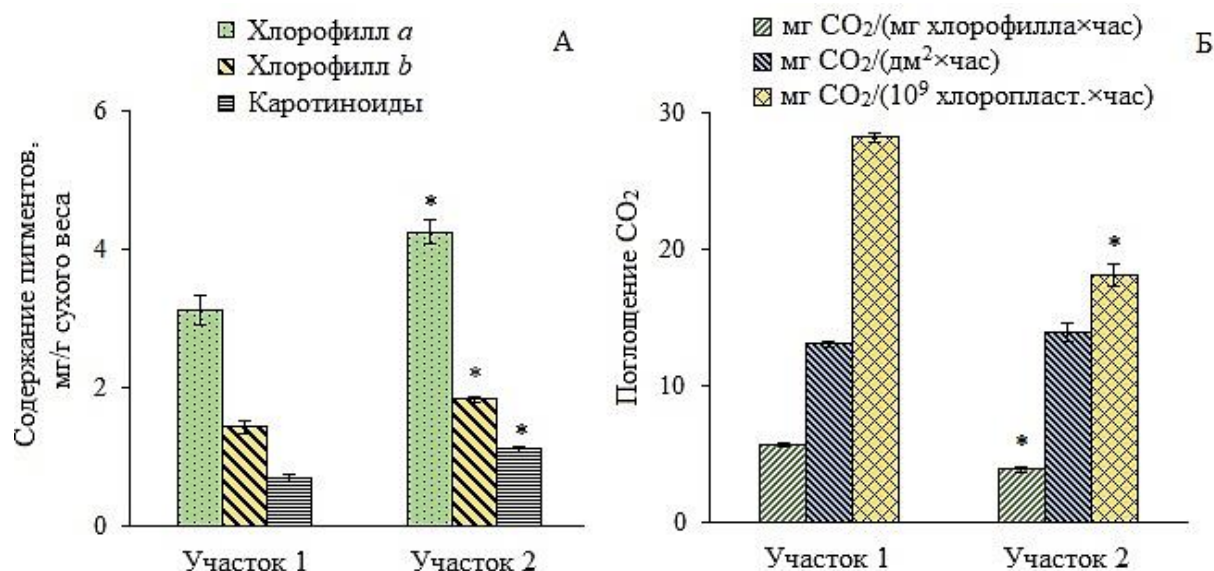


Рисунок 2 – Содержание фотосинтетических пигментов (А) и скорость поглощения CO_2 (Б) в листьях *E. atrorubens* из естественной (участок 1) и трансформированной (участок 2) экосистем. * – Различия между участками достоверны при $p < 0,05$

Таким образом, можно заключить, что выявленные закономерности в изменении структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата листа *E. atrorubens* имеют адаптивный характер поскольку оказывают прямое влияние на приспособление орхидеи к специфическим условиям произрастания на трансформированном участке. Способность достигать необходимого уровня фотосинтеза позволяет этим растениям поддерживать положительный углеродный баланс, т.е. напрямую определяет выживаемость особей в конкретных экологических условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20–44–660011.

Библиографический список

1. Камелин Р. В. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
2. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / отв. ред. Н. С. Корытин. Екатеринбург: ООО «Мир», 2018. 450 с.

3. Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Орхидные в техногенных экосистемах Урала // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. № 11. С. 68–75.
4. Orchid biodiversity on the technogenically disturbed territories of the Middle Urals, Russia / M. Maleva, N. Chukina, E. Filimonova, N. Lukina, M. Glazyrina, G. Borisova, P. Novikov // Book of abstracts of International Conference “Forestry. Bridge to the Future”. Sofia, Bulgaria, 2021. P. 56.
5. A comparative study of *Epipactis atrorubens* in two different forest communities of the Middle Urals, Russia / E. Filimonova, N. Lukina, M. Glazyrina, G. Borisova, Tripti, A. Kumar, M. Maleva // Journal of Forestry Research. 2020. V. 31. P. 2111–2120.
6. Мишагина Д. А. Виды семейства Orchidaceae техногенно-измененных экосистем Ивановской области // Успехи современного естествознания. 2018. № 6. С. 102–106.
7. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / С. И. Мормилъ [и др.], под ред. Ю. А. Боровкова. Екатеринбург: НИА–Природа, ДПР по Уральскому региону, АООТ «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Геологическое предприятие «Девон», 2002. 206 с.
8. Мокроносов А. Т., Борзенкова Р. А. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Труды по прикладной ботаники, генетике и селекции. 1978. Т. 61(3). С. 119–133.
9. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes // Methods in Enzymology. 1987. V. 148. P. 350–382.
10. Горышина Т. К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды. Л.: ЛГУ, 1989. 204 с.